

KERNFORSCHUNGSZENTRUM

KARLSRUHE

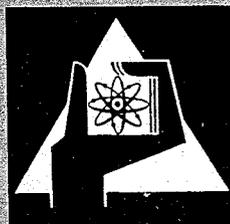
Juni 1966

KFK 459

Institut für Angewandte Kernphysik

Das Drehkristallspektrometer am FR 2 in Karlsruhe

H. Ripfel



GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG M. B. H.

KARLSRUHE

Das Drehkristallspektrometer am FR 2 in Karlsruhe

FR 2 rotating-crystal spectrometer at Karlsruhe

Von H. Ripfel Aus dem Institut für Angewandte Kernphysik, Kernforschungszentrum Karlsruhe

1. Einleitung

Das Drehkristallspektrometer am FR2 dient zur Messung des zweifach differentiellen Wirkungsquerschnitts für inelastische Streuung langsamer Neutronen in Festkörpern, Flüssigkeiten und Gasen. Die dabei erhaltenen Daten spielen bei der Berechnung des Neutronenspektrums eines thermischen Reaktors eine wichtige Rolle, weil sie es erlauben, den Einfluß der chemischen Bindung auf die Neutronenthermalisierung zu berücksichtigen. Darüber hinaus ist die Streuung langsamer Neutronen ein besonders gutes Mittel, um Erkenntnisse über den inneren Aufbau und die dynamischen Eigenschaften kondensierter Materie im allgemeinen zu gewinnen.

Der Vorteil langsamer Neutronen gegenüber anderen Strahlungsarten (z. B. Gammastrahlen, Protonen) besteht darin, daß sie

1. keine Ladung besitzen (keine Coulombkräfte),
2. eine mit der Masse von Atomen vergleichbare Masse haben (gut meßbare Energieänderung beim Stoß),
3. eine Energie haben, welche von der gleichen Größenordnung ist wie die Energieniveaus der zu untersuchenden Substanzen,
4. eine Wellenlänge haben, welche sehr viel größer ist als die Abmessungen der Kerne (punktförmige, isotrope Streuung).

Voraussetzung für solche Messungen ist ein genügend intensiver Neutronenstrahl; an einem thermischen Hochflußreaktor wie dem FR2 stehen derartige Strahlen zur Verfügung. Die Messungen erstrecken sich über einen weiten Bereich von Impuls- und Energieänderungen der Neutronen bei der Streuung. Direkte Streudaten sind Flußdichte und Energie der Neutronen nach der Streuung für festgelegte Streuwinkel. Zu ihrer Gewinnung ist im Prinzip ein Doppelspektrometer notwendig (Fig. 1). Aus dem durch einen Strahlkanal aus dem Reaktorkern austretenden Spektrum wird eine bestimmte Neutronenenergie mit einem Monochromator abgesondert. Dieser monochromatische Strahl fällt auf die Streuprobe. Mit einem sekundären Spektrometer (Analytator) wird die Energie der Neutronen nach der Streuung bestimmt. Der Winkel zwischen dem auf die Streuprobe einfallenden Strahl und der Richtung von der Streuprobe zum Detektor ist als Streuwinkel definiert. Mit einem dreiaxigen Kristallspektrometer werden Messungen unter verschiedenen Streuwinkeln nacheinander durchgeführt [1]. Mit einem gepulsten Spektrometer (z. B. Doppelchopper mit Laufzeitmeßanordnung) können sämtliche interessierenden Streuwinkel und mit jedem Detektor ein vollständiges Spektrum der gestreuten Neutronen gleichzeitig erfaßt werden [2]. Das nachstehend beschriebene Drehkristallspektrometer [3, 4] ver-

einigt die Vorteile beider Systeme in sich und nützt außerdem den am Drehkristallmonochromator zur Verfügung stehenden gesamten interessierenden Einfallsbereich aus. Dazu sind mehrere Experimente (mit verschiedenen monochromatischen Neutronenstrahlen) um den Drehkristall herum, d. h. an ein und demselben Reaktorstrahlkanal, aufgebaut.

2. Allgemeine Eigenschaften des Drehkristallspektrometers

2.1 Drehkristall als gepulster Monochromator

Das Drehkristallspektrometer (Fig. 1) gehört zu den gepulsten Spektrometern. In der Art des Monochromators ist es jedoch einem Kristallspektrometer ähnlich: Ein Einkristall (Drehkristall), aufgebaut zwischen zwei Kollimatoren (Sollertyp o. ä.), welche eine vom Reaktorstrahl abgebeugte Strahlrichtung definieren, reflektiert mit einer seiner Gitterebenen in Reflexionsstellung einen monoenergetischen Strahl in diese Richtung.

Die reflektierten Neutronen entsprechen der Bragg-Bedingung

$$n\lambda = 2d \sin \theta,$$

wobei λ die Wellenlänge der Neutronen, d der Gitterabstand im Einkristall und θ der sog. Bragg-Winkel ist. Daraus folgt über die Beziehung für die De-Broglie-Wellenlänge die Beziehung für die Energie

$$E = \frac{n^2 h^2}{8 m d^2 \sin^2 \theta}.$$

m ist die Masse des Neutrons, h die Plancksche Konstante und n die Ordnungszahl der Reflexion.

Da sich der Einkristall um eine Achse, welche in der reflektierenden Ebene liegt, mit hoher Winkelgeschwindigkeit dreht, ist die Reflexionsbedingung für einen Winkel nur kurzzeitig erfüllt, d. h., es werden nur zeitlich kurze monoenergetische Neutronenimpulse erzeugt. Diese fallen auf die Streuprobe und von da auf den Detektor, welcher in einem bestimmten Abstand (Laufweg) von der Streuprobe angeordnet ist. Ein Vielkanal-Laufzeit-Analytator mißt die Zeit, welche vom Start des Neutrons am Drehkristall bis zu seiner Ankunft am Detektor verstrichen ist. Diese Zeit ist ein Maß für die bei der Streuung erfolgte Energieänderung, wenn die Einfallenergie bekannt ist.

Da der Drehkristall bei seiner Drehung das ganze einfallende Spektrum nach Winkeln auflöst, liegt es nahe, die in verschiedenen Richtungen abgehenden monoenergetischen, gepulsten Strahlen ebenfalls auszunutzen, d. h. den sekundären Teil des Spektrometers zu vervielfachen. Es wurden daher zunächst zwei unabhängige Experimentträger vorgesehen. Zur Zeit sind vier verschiedene Typen von Experimenten gleichzeitig im Betrieb (Fig. 2).

Von Vorteil ist, daß sämtliche Experimente in einer vom direkten Reaktorstrahl abgebeugten Richtung aufgebaut sind. Dadurch ist kein Aufwand für die Unterdrückung des von der Spaltzone kommenden Untergrunds (schnelle Neutronen) durch rotierende Verschlüsse o. ä. erforderlich. Bei dem Drehkristall handelt es sich um einen relativ kleinen, leichten Rotor (Dimensionen des Strahls), welcher wartungsfrei über sehr lange Zeiten betrieben werden kann.

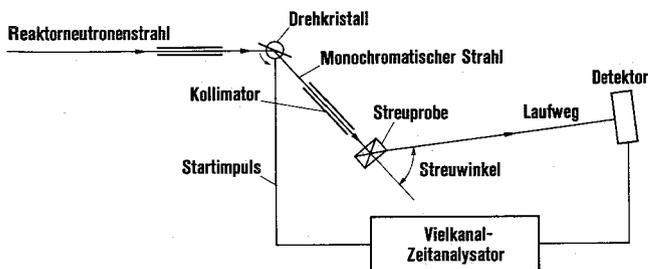


Fig. 1: Drehkristall-Flugzeit-Spektrometer, Schema

Fig. 1: Scheme of rotating-crystal time-of-flight spectrometer

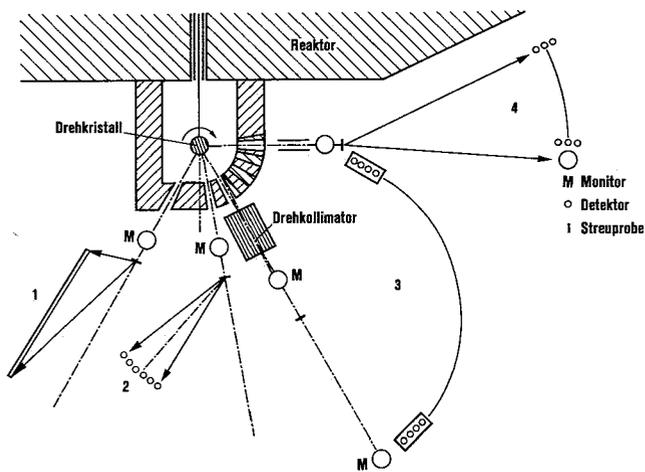


Fig. 2: Drehkristallspektrometer mit mehreren (sekundären) Flugzeit-Spektrometern, Schema

- 1 Strukturspektrometer
- 2 Spektrometer zur Messung der Phononenfrequenzverteilung (bei Einkristallen)
- 3 Spektrometer für inelastische Streumessung
- 4 Spektrometer zur Messung kleiner Energieüberträge

Fig. 2: Rotating-crystal spectrometer with several different (secondary) time-of-flight spectrometers.

- 1 Structure spectrometer
- 2 Spectrometer for measurement of the phonon-frequency distribution (in single crystals)
- 3 Spectrometer for inelastic-scattering measurements
- 4 Spectrometer for measurement of small energy-transfers

2.2 Energieauflösung

Die zeitliche Breite des Neutronenimpulses am Drehkristall, welche in die Energieauflösung des Laufzeitspektrometers eingeht, hängt von der Winkelunsicherheit (Kollimation, Mosaikstruktur des Kristalls) ab und ist der Winkelgeschwindigkeit umgekehrt proportional. Die Halbwertsbreite ist [3]

$$\tau_{\omega} = \frac{1}{\omega_k} \sqrt{\frac{\alpha_g^2}{2} + \beta_k^2},$$

wobei ω_k die Winkelgeschwindigkeit des Einkristalls, α_g die geometrische Kollimation eines Kollimatorschlitzes, β_k die Mosaikstruktur ist. Die übrigen Ursachen, die eine Verbreiterung des Neutronenimpulses bewirken, z. B. Dicke des Drehkristalls, Dicke oder Stellung der Streuprobe, Dicke des Detektors, ferner das durch die Energieunschärfe der am Kristall reflektierten Neutronen einerseits und die Laufwege (vom Kristall

zur Streuprobe und weiter zum Detektor) andererseits bedingte Auseinanderlaufen, können hier nicht im einzelnen untersucht werden. Alle Effekte, die die Auflösung verschlechtern, müssen abgeschätzt und berücksichtigt werden.

Die hier erhaltene Energieauflösung liegt zwischen 1% und 10%. Bei bestimmten Untersuchungen mit subthermischen Neutronen (Energie kleiner als 10 meV) und verlängertem Laufweg kann sie auch besser als 1% sein.

2.3 Untergrundprobleme

Entsprechend der Bragg-Bedingung werden vom Drehkristall auch Neutronen n-ter Ordnung reflektiert. Bei bestimmten Messungen ist es möglich, die höheren Ordnungen auszunützen (höhere Auflösung). Im allg. aber ist es erforderlich, ein Mittel zur Unterdrückung der höheren Ordnungen zu haben, insbesondere bei Messungen mit Neutronen niedriger Energie, wenn das Reaktorspektrum so beschaffen ist, daß die in höherer Ordnung reflektierten Neutronen wesentlich häufiger sind.

Zwei Methoden werden zur Filterung benutzt: 1. Totalreflexion von Neutronen an polierten Metalloberflächen für Neutronenenergien unter 10 meV; 2. Drehkollimator als mechanischer Geschwindigkeitsselektor für den darüberliegenden Energiebereich.

In beiden Fällen sind die Filter einem Soller-Kollimator ähnlich aufgebaut, so daß sie einfach an die Stelle des 2. Kollimators treten. Im ersten Fall wurde ein Paar von Soller-Kollimatoren, welche unter einem Winkel gegeneinander geneigt sind, der größer ist als die doppelte geometrische Kollimation, benutzt [5]. Die Transmission hängt dabei sehr von der Güte der Politur ab. Sie beträgt etwa 50% bei mechanisch polierten Oberflächen. Im zweiten Fall wurde ein mechanischer Geschwindigkeitsselektor [6] gebaut, dessen theoretische Transmission

$$\tau_0 = \frac{z\psi}{2\pi}$$

89% beträgt. Dabei ist z die Schlitzzahl, ψ der Öffnungswinkel eines Schlitzes. Die mittlere Kollimation eines Schlitzes beträgt 20'. Da die Kollimation ebenso wie die Transmission mit der eines Soller-Kollimators vergleichbar ist, wurde die Bezeichnung »Drehkollimator« (rotating collimator) gewählt. Für eine genauere Berechnung der Transmission müssen die Bahnen der Neutronen in den geraden Schlitzten relativ zu den Schlitzwänden berücksichtigt werden. Es ist klar, daß die Neutronen nur an einem (mittleren) Radius parallel zu den Schlitzwänden laufen, d. h. daß dort die Transmission dem theoretischen Wert entspricht. Hierbei gehen die Abmessungen des Strahls und die Drehzahl ein. Die so erhaltene vertikale und horizontale, über den Strahlquerschnitt gemittelte Transmission kann zwischen 50% und 70% liegen. Fig. 3 zeigt ein ge-

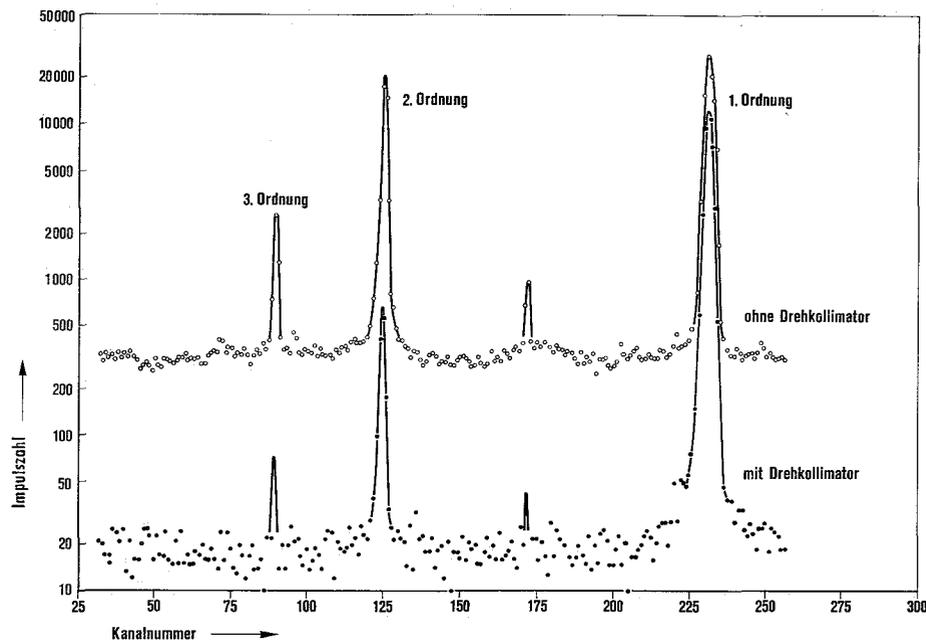


Fig. 3: Transmissionsspektren ohne und mit Drehkollimator, Neutronenenergie 14,2 meV

Fig. 3: Transmission spectra without and with rotating collimator; neutron energy 14,2 meV

messenes Spektrum mit und ohne Drehkollimator. Die Verbesserung des Verhältnisses der in 1. Ordnung reflektierten Neutronen zu den in 2. Ordnung reflektierten beträgt ungefähr einen Faktor 13. Der vom Drehkristall und seiner Umgebung (Luftstreuung!) herkommende Untergrund wird ebenso reduziert.

Wegen der großen Zahl zur Reflexion geeigneter Gitterebenen in einem Einkristall ist es nicht ganz einfach, die Forderung nach nur einer reflektierenden Ebene pro Umdrehung des Drehkristalls zu erfüllen. Bedingt durch die geringe vertikale Kollimation beim Soller-Kollimator tragen auch Ebenen, die nur um 1° bis 2° gegen die gewählte Ebene geneigt sind, noch zum Untergrund bei.

Mit Hilfe eines einachsigen Spektrometers ist es möglich, bei bestimmten Gittern und Ebenen, z. B. der 111-Ebene des kubisch-flächenzentrierten Aluminium-Kristalls, eine Optimierung insoweit durchzuführen, daß die von anderen Ebenen herrührenden Nebenreflexe höchstens das 1,5fache des inkohärenten, zeitunabhängigen Untergrundes ausmachen. Gleichzeitig wird die spätere Drehachse einjustiert. Anschließend wird der Einkristall mechanisch zu einem Zylinder der gewünschten Form abgearbeitet.

3. Technische Ausführung des Drehkristallspektrometers

Wichtig für die technische Ausführung war,

a) daß ein erkanntes neuartiges Prinzip (mehr als ein sekundäres Spektrometer) erprobt werden sollte;

b) daß auch zur Zeit der technischen Durchführung noch nicht erkennbare Meßaufgaben damit gelöst werden können.

Daraus folgt, daß vor allem Flexibilität erforderlich war, die technische Perfektion dagegen auf das notwendige Mindestmaß reduziert werden mußte. Motorische Antriebe (außer natürlich beim Drehkristall) und mittelbare Meßmöglichkeiten (z. B. Messung des Bragg-Winkels wie beim normalen Kristallspektrometer) sind entbehrlich und weggelassen. Dabei konnte als Vorteil des Drehkristallspektrometerprinzips ausgenutzt werden, daß nur ein geringer Teil der Meßdaten auf mittelbare Meßwerte zurückzuführen ist. Diese betreffen nur den Laufweg und die Winkelstellung der Detektoren und brauchen nur mit einer im Rahmen der übrigen Unsicherheiten liegenden, mit einfachen Mitteln zu erreichenden Genauigkeit (1 mm bzw. $0,1^\circ$) gemessen werden. Sie sind innerhalb eines Meßzyklus fixiert. Diejenigen Daten, welche häufig geändert werden müssen (z. B. die Energie des vom Drehkristall kommenden Strahls, die Flußdichte usw.), können dagegen »direkt«, d. h. unter Zuhilfenahme der Laufzeitmeßeinrichtung sowie der Monitor- bzw. Flußkartenmeßeinrichtung mit Neutronen gemessen werden.

3.1 Mechanischer Aufbau des Drehkristallspektrometers

3.1.1 Strahlführung, primäre Abschirmung

Für das Drehkristallspektrometer wurde am FR 2 ein großer Reflektorkanal (R7) gewählt, weil es mit dem Drehkristall möglich ist, einen relativ großen Strahlquerschnitt auszunutzen (Fig. 4). In den Kanal ist nach dem Strahlenschieber der Kollimatorträger-Pfropfen eingebaut. Dieser dient dazu, die von der Spaltzone kommende, nicht auf den Drehkristall fallende Strahlung auszublenzen. Der Pfropfen besitzt axial einen rechteckigen Durchbruch (100 mm breit, 200 mm hoch, konisch verjüngt auf 80 mm bzw. 170 mm). Dieser Durchbruch nimmt auf die maximalen Drehkristallabmessungen Rücksicht (50 mm breit, 100 mm hoch) und wird durch Anpassungseinschübe entsprechend den jeweiligen Drehkristallabmessungen weiter reduziert. Der Pfropfen ist geteilt in einen vorderen (heißen) und einen hinteren Teil (dazwischen befindet sich der Kühlluft eintritt in den Kanal). Der hintere Teil ist evakuierbar, hierzu ist er auf der Seite der Spaltzone durch eine dünne Aluminiumfolie verschlossen. Der vordere Teil, der am stärksten aktiviert wird, ist abnehmbar, so daß er später getrennt gelagert werden kann. Er ist außerdem durch eine Boralplatte auf der Seite der Spaltzone gegen thermische Neutronen abgedeckt. Der hintere Teil enthält möglichst fern vom Drehkristall den 1. (Soller-)Kollimator. Diese Anordnung ist zweckmäßig, weil der vom Drehkristall »gesehene« Raumwinkel für Streustrahlung von den Lamellen her verringert wird und weil außerdem die mit der doppelten Divergenz (durch eine Trennwand) durchgelassenen Neutronen, welche die Winkelauflösung verschlechtern, geometrisch ausgeblendet werden. Durch Evakuieren der Neutronenflugstrecke im Kollimatorträger-Pfropfen bis zum Drehkristall werden Intensitätsverluste infolge Luftstreuung (ca. 5% pro m) vermieden.

Bei den Kollimatoren vom Soller-Typ sind die Trennwände (Ni-Fe-Legierung, 0,3 mm dick) quer zur Achse durch Druckschrauben gespannt. Es kommt dabei darauf an, die montagebedingten Würfungen einzelner Bleche auszugleichen. Dazu genügt es, daß die bereits straffen Lamellen in einer leichten, durch Schrauben erzielten Einspannung gleiten, während die noch gewellten straff gezogen werden. Die Einspannung wird schrittweise verstärkt und am Ende des Spannvorgangs fixiert.

Das Drehkristallabschirmungsgehäuse dient zur Verringerung des Hallenuntergrundes. Es besitzt die erforderlichen Durchbrüche, um monochromatische Experimentierstrahlen in einem Winkelbereich von 0° bis 105° nach

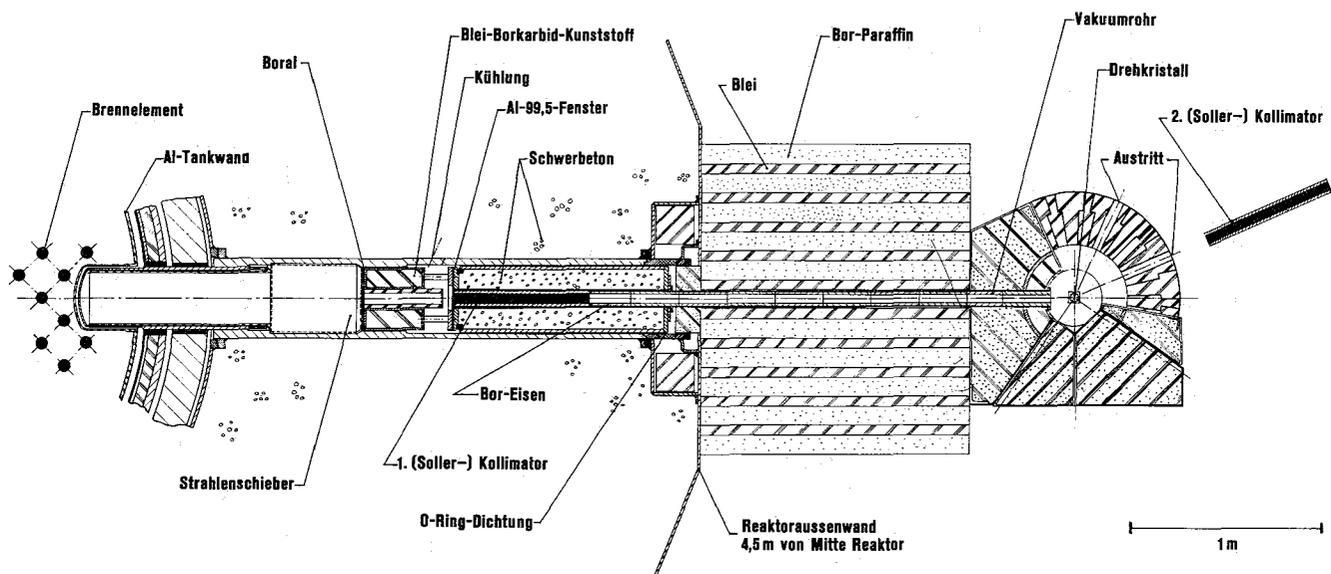


Fig. 4: Drehkristall-Monochromator am Strahlkanal R7

Fig. 4: Rotating-crystal monochromator at the R7 beam hole

links (in Strahlrichtung gesehen) und bei bestimmten Winkeln (35° , 90° , 125°) nach rechts herauszulassen. Die großen Einschübe (rechts) laufen auf Kugelrollen und ermöglichen einen Montagezugang von 300 mm Höhe zum Drehkristall. Ein weiterer Zugang zum Innenraum (296 mm Durchmesser) befindet sich oben. Der bei der Stahlblechkonstruktion sich ergebende ringförmige Hohlraum ist mit einem Blei-Bor-Kunststoffgemisch gefüllt. In einer solchen wasserstoffhaltigen Abschirmung mit schweren Stoffen geben die schnellen Neutronen durch inelastische Streuprozesse an schweren Kernen einen großen Teil ihrer Energie ab und werden dann (mit einigen 100 keV) an den leichten Wasserstoffkernen durch elastische Stöße auf kurzem Weg auf thermische Energie heruntermoderiert. Die Absorption erfolgt am Bor, das eine relativ weiche Einfang-Gammastrahlung von 0,48 MeV hat. Die Mischung ist wegen ihrer hohen mittleren Dichte ($7,7 \text{ g/cm}^3$) auch für die Gamma-Absorption gut geeignet.

3.12 Tragkonstruktion, Verstellmöglichkeiten

Die Tragkonstruktion des Drehkristallspektrometers (Monochromator und verschiedene Laufzeitanordnungen) ist durch zahlreiche Bewegungsmöglichkeiten gekennzeichnet. Der Drehkristall mit seiner Abschirmung ist auf einer Schiene parallel zum Reaktorstrahl verschiebbar. Wegen der räumlichen Beschränkung (durch Nachbarexperimente) muß bei mehreren Experimenten am Drehkristallspektrometer und etwaigen Armstellungen mit großem Bragg-Winkel der Abstand vom Reaktor größer gemacht werden als bei nur einem Arm in Betrieb (bei kleinem Bragg-Winkel). Weil die Flußdichte aber mit dem Quadrat des Abstands abnimmt, ist es wünschenswert, daß dieser jeweils so klein wie möglich gemacht wird. An dem Tragzapfen für die Drehkristallabschirmung sind zwei schwenkbare Arme von ca. 4 m Länge und etwa 5 Mp Tragkraft spielfrei angelenkt, die zur Aufnahme je eines vollständigen Laufzeitexperiments dienen. Ein Arm kann in Strahlrichtung verschoben werden (Änderung des Abstands vom Drehkristall zur Streuprobe). Die Arme sind auf mehreren Schienen durch konische Rollen abgestützt. Die Rollen überbrücken durch ihre Breite (500 mm) den Abstand zwischen zwei Schienen (Fig. 5). Der Drehkristall mit Abschirmung kann auch mit einem Arm unter Last verschoben werden, wenn der Arm rechtwinklig zur Bewegungsrichtung gestellt wird.

Eine perspektivische Darstellung des Drehkristallspektrometers mit dem Experiment zur Messung der inelastischen Streuung zeigt Fig. 6. Anstelle des 2. Soller-Kollimators ist der Drehkollimator angeordnet. In einem Bogengestell sind die Detektorabschirmkästen aufgehängt. (Man sieht, daß der Strahlverlauf, um Platz für mehrere Experimente nebeneinander zu gewinnen, an der Streuprobe um 90° aus der horizontalen in die

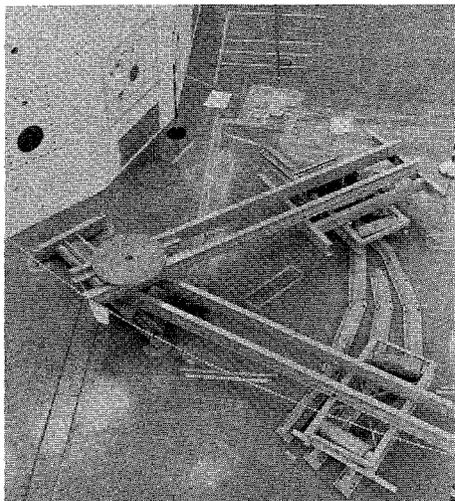


Fig. 5: Tragkonstruktion des Drehkristallspektrometers mit zwei schwenkbaren Armen

Fig. 5: Support unit of the rotating-crystal spectrometer with two movable arms

vertikale Ebene umgeklappt wurde!). Jeder Detektorabschirmkasten für sich ist um den Ort der Streuprobe schwenkbar (Streuwinkel). Dazu wurden die auf jeder Seite befindlichen Bogen mit je einer Rollenkette überspannt. Die Kästen laufen auf den Bogen nicht auf Rollen, sondern auf entsprechenden Kettenrädern. Die Abrollbewegung der Kettenräder ergibt eine Welligkeit der Bahn von nur wenig mehr als 1 mm. Durch Gabeln, welche auf zwei Zapfen rechts und links von der Streuprobe greifen, werden die Kästen auf den Mittelpunkt ausgerichtet. Diese Stahlblechkästen sind doppelwandig ausgeführt und bilden einen Behälter zur Aufnahme des als Detektorabschirmung dienenden Bortrioxids. Sie nehmen in ihrem Innern die Detektoren auf und schirmen einen Teil des Laufwegs der Neutronen zwischen Streuprobe und Detektor ab. — Die Daten des Drehkollimators sind: Länge 500 mm, Durchmesser 408 mm, Schlitzhöhe 102 mm, Trennwanddicke 0,3 mm, Anzahl der Schlitze 288. Die Verbindung der sehr dünnen Trennwände mit der dickwandigen (25 mm) Trägerwalze erfolgte durch Verstemmen in der für zwei Trennwände gemeinsamen Nut unter Zuhilfenahme eines Fülldrahts. Die Lagerung des Rotors wird durch spiel-einstellbare Pendellager durchgeführt. Die Schmierung erfolgt dadurch, daß eine Schleuderscheibe das Öl, welches aus der Vorratswanne durch ein Lager hindurchgetreten ist, durch Bohrungen im Gehäuse wieder auf die andere Lagerseite zurückdrückt. Der Drehkollimator läuft im Vakuum, die Abdichtung der dünnen Antriebswelle (15 mm) erfolgt durch Simmering; der Antrieb wird durch einen Synchronmotor mit Netzfrequenz mit Zahnflachriemenübersetzung ins Schnelle (max. Drehzahl 7000 min^{-1}) bewirkt.

3.2 Elektrische und elektronische Einrichtungen des Drehkristallspektrometers

Ein Blockschaltbild zeigt Fig. 7. Die Versorgung des für den Drehkristallantrieb dienenden Mittelfrequenz-Hysteresis-Synchronmotors [B1] erfolgt durch einen stufenlos regelbaren Frequenzgenerator [B2] und Lautsprecherverstärker mit nachfolgender Phasenaufspaltung. Die Drehzahlkonstanz ist besser als 3% . Das Nullzeitsignal wird durch eine Stahlnadel hervorgerufen, welche an einem Tonbandkopf vorbeiläuft und dort eine durch einen kleinen Dauermagneten erzeugte Feldverteilung ändert. Bei einer Drehzahl von 6000 min^{-1} stehen Triggerimpulse von 40 V zur Verfügung. Der Tastkopf kann auf eine bestimmte Winkellage eingestellt werden, um eine Übereinstimmung zwischen dem Nullzeitpunkt und dem Reflexionszeitpunkt der Neutronen herzustellen. Damit wird der Einfluß von Drehzahlschwankungen auf die Auflösung ausgeschaltet.

Als Detektoren verwenden wir meist Szintillationsscheiben (^6LiF -Zinksulfid, 5 Zoll Durchmesser, 1 mm dick) [B3] mit Photoelektronenvervielfacher [B4]. Zur Verringerung der Gamma- und der Rauschempfindlichkeit wurde zunächst ein Impulshöhendiskriminator verwendet. Wegen des ungünstigen Signal/Untergrund-Verhältnisses erwies es sich als optimal, die Schwelle so einzustellen, daß die Nachweiswahrscheinlichkeit gering (20 bis 40%) war, obwohl aufgrund des ^6Li -Gehalts 60% der Neutronen absorbiert wurden. Mit einer besonderen Schaltung eines Impulsformdiskriminators, welcher die kurzen Gamma-Impulse und das hochfrequente Multiplerrauschen von den langsamen Neutronenimpulsen trennt und nur die letzteren durchläßt, wird die Nachweiswahrscheinlichkeit verbessert.

Für manche Messungen werden ^3He -Zählrohre (1 Zoll Durchmesser 6 bzw. 12 Zoll lang) [B5] verwendet. Diese haben eine etwas größere Laufzeitsicherheit bei größerer Empfindlichkeit (etwa 65%). Sie werden zu Zählrohrbänken von 155 cm^2 effektivem Querschnitt zusammengeschlossen. Die Impulse werden verstärkt und auf einen Integralkollimator gegeben, der Normimpulse liefert.

Die von den Diskriminatoren kommenden Impulse werden in zwei kommerziellen Geräten digitalisiert. Das erste Gerät (AP32) [B6] ist eine Mischstufe mit 32 Eingängen. Sie erzeugt gleichzeitig mit dem Ausgangsimpuls eine binäre Kombination von Spannungspegeln der Nummer des Impulselingangs (Detektornummer). Das zweite Gerät (HC24) [B6]

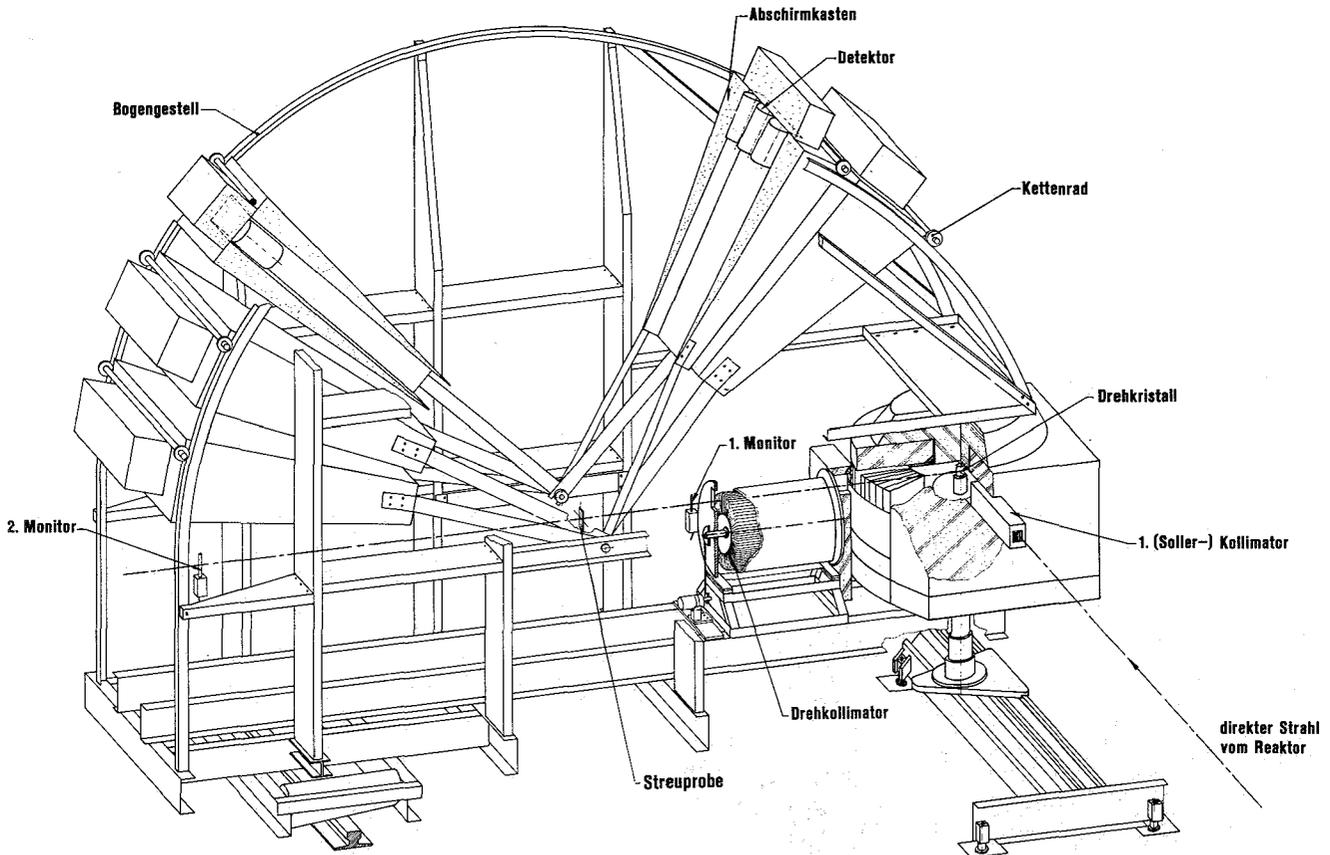


Fig. 6: Drehkristallspektrometer-Experiment zur Messung der inelastischen Streuung von Neutronen, Perspektiv-Teilschnitt, vereinfacht

Fig. 6: Rotating-crystal scattering-law measurement experimental arrangement; artist's sketch

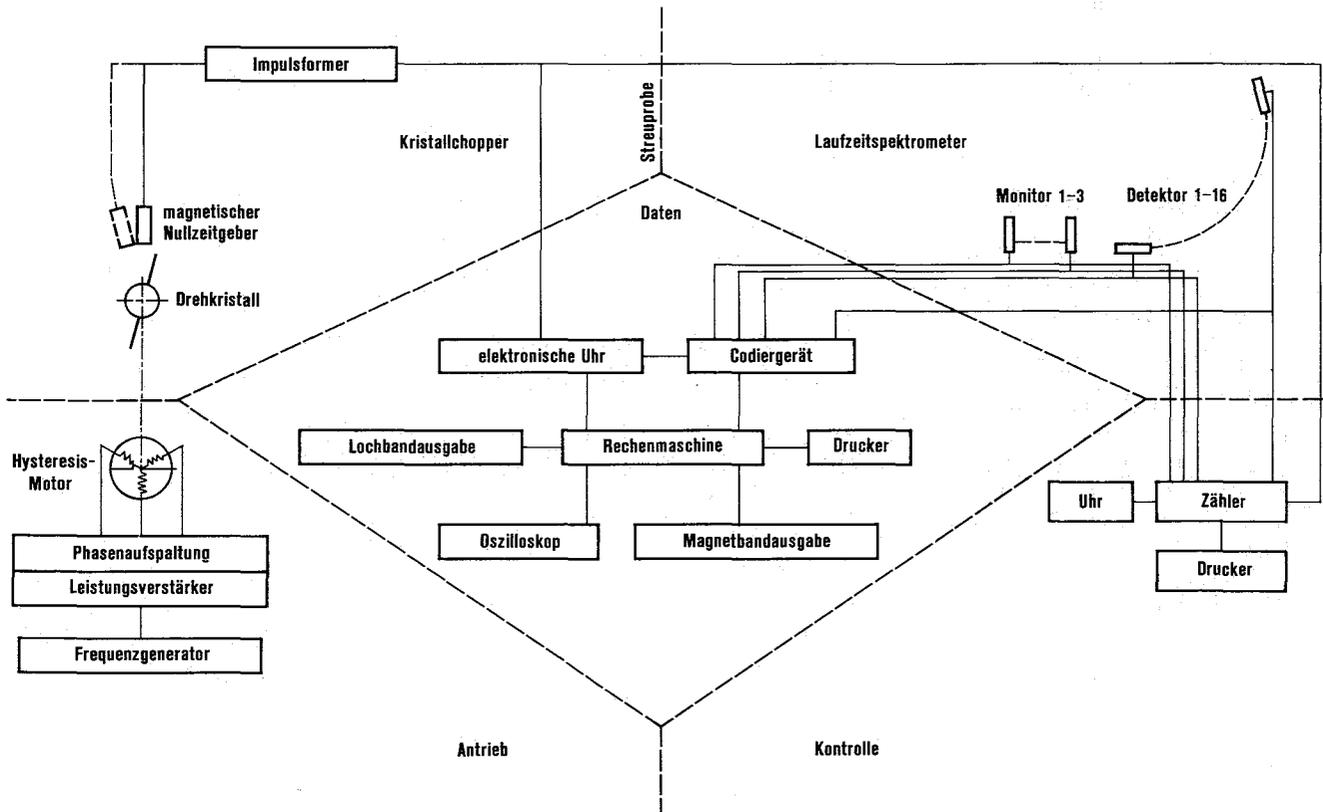


Fig. 7: Blockschaltbild der Elektronik (Drehkristallspektrometer)

Fig. 7: Block diagram of electronic network (rotating-crystal spectrometer)

ist eine elektronische Uhr, die vom Nullzeitsignal gestartet wird. Sie durchläuft 256 Zeiteinheiten (wahlweise 2, 4, 8, 16 μ s) und wartet dann wieder auf das nächste Triggersignal. Ist während der aktiven Zeit ein Neutron registriert worden, d. h. liefert das Gerät einen Ausgangsimpuls, so wird die augenblickliche Stellung der Uhr als eine Kombination von Binärzahlen zusammen mit den Binärzahlen der Mischstufe der Datenverarbeitungsanlage MIDAS [11] als ein Datenwort übermittelt.

Ein Überwachungskanal druckt in regelmäßigen Abständen die für den einwandfreien Ablauf der Messung wichtigen Daten: Drehzahl, Reaktorleistung, Zählrate ausgewählter Detektoren, Gesamtzählrate aller Detektoren, von der Rechenmaschine verarbeitete Zählrate. Dadurch ist eine Kontrolle des laufenden Experiments ohne Eingriff möglich.

4. Meßergebnisse

Mit dem Drehkristallspektrometer (Fig. 8 zeigt als Gesamtansicht den derzeitigen Versuchsstand) wurden zahlreiche Streuexperimente durchgeführt. Sie betreffen:

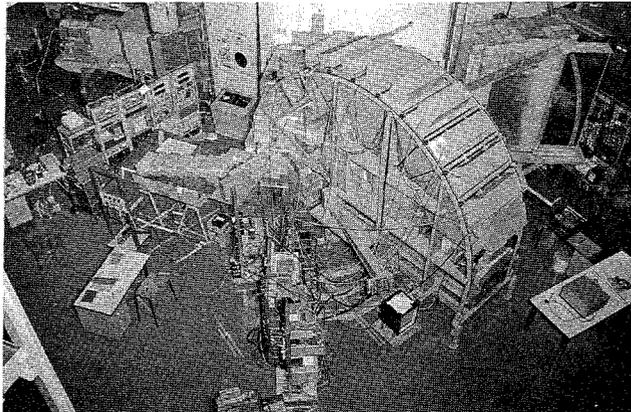


Fig. 8: Drehkristallspektrometer, Gesamtansicht in der Reaktorhalle
Fig. 8: Rotating-crystal spectrometer, total view in the reactor hall

1. Absolutmessungen der zweifach differentiellen Streuquerschnitte von Stoffen, die als Moderator oder Kühlmaterialien für thermische Reaktoren von Interesse sind. Es werden Messungen an Zirkonhydrid, Graphit, Wasserdampf und einigen organischen Moderatoren [7, 8] durchgeführt. Ein typisches Laufzeitspektrum, wie es im Falle des Zirkonhydrids für eine Einfallenergie und einen Streuwinkel gewonnen wurde, zeigt Fig. 9. Ausgehend von den mikroskopischen Wirkungsquerschnitten konnten integrale Thermalisierungsparameter, wie totaler Streuquerschnitt, mittlerer Streukosinus und zweites Moment der Energieübertragung, mit befriedigender Genauigkeit berechnet werden [9]. Insbesondere im Falle überwiegend inkohärenter Streuung konnte aus den experimentellen Daten durch Vergleich mit verschiedenen Modellen für die atomaren Bewegungsvor-

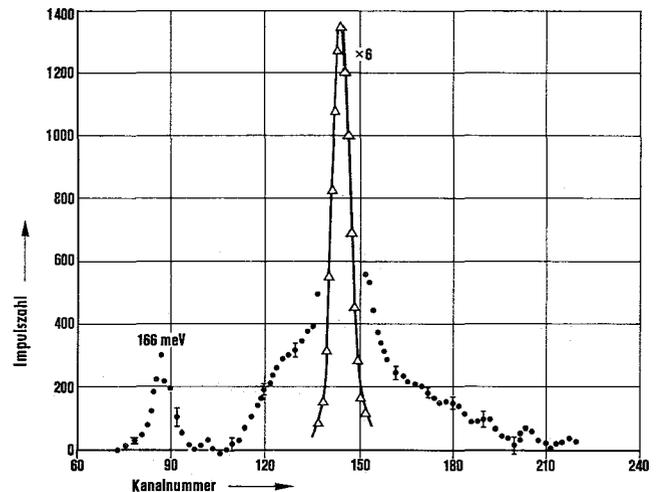


Fig. 9: Laufzeitspektrum für Zirkonhydrid ($ZrH_{1,1}$) bei 210 °C, Einfallenergie 32,6 meV, Streuwinkel 77,1°, Kanalbreite 8 μ s

Fig. 9: Time-of-flight spectrum obtained with $ZrH_{1,1}$ at 210 °C, incident energy 32,6 meV, scattering angle 77,1°, channel width 8 μ s

gänge im Streuer ein tieferes Verständnis für die mikroskopischen Streuprozesse erzielt und ein Beitrag zur Aufklärung dieser Bewegungsvorgänge geleistet werden.

2. Aufklärung der Bewegungsmechanismen in kondensierter Materie. Hierzu wurden Messungen des Phononenfrequenzspektrums von Vanadium [10], Untersuchungen der Phasenübergänge in Ammoniumhalogeniden und der Selbstdiffusionsmechanismen im Wasser durchgeführt. Messungen der Phononendispersionsbeziehungen von kohärent streuenden Einkristallen wurden begonnen. (Eingegangen am 20. 1. 1966)

Literatur

- [1] Brockhouse, B. N.: Bericht CRNP-947 (1961)
- [2] Brugger, R. M., und J. E. Evans: Nucl. Instr. and Methods **12**, 75 (1961)
- [3] Gläser, W.: Symposium on Neutron Time-of-flight Methods. EANDC, Saclay 1961, S. 301
- [4] Ripfel, H., und G. Ehret: Diskussionstagung über Neutronenphysik Deut. Atomforum u. a., Karlsruhe 1963, S. 126
- [5] Möller, H. B., L. Passell und F. Stecher-Rasmussen: Reactor Science and Technol. **17**, 227 (1963)
- [6] Carvalho, F., G. Ehret, W. Gläser und H. Ripfel: Doc. LFEN, 30 (1964), Sacavém, Portugal
- [7] Gläser, W., G. Ehret und A. Merkel: Inelastic Scattering of Neutrons in Solids and Liquids, Vol. II. Wien: IAEA 1965, S. 167
- [8] Gläser, W.: Nukleonik **7**, 64 (1965)
- [9] Gläser, W., und K. H. Beckurts: Nucl. Sci. Engineering **20**, 235 (1964)
- [10] Gläser, W., F. Carvalho und G. Ehret: Inelastic Scattering of Neutrons in Solids and Liquids, Vol. I. Wien: IAEA 1965, S. 99
- [11] Krüger G., G. Dimmler, G. Zipf, H. Hanak und R. Merkel: Kerntechnik **8** (1966)

Bezugsquellen

- [B 1] Smiths Aviation Division (VDO Tachometer Werke, Frankfurt a. M.)
- [B 2] Rhode & Schwarz, München
- [B 3] Nuclear Enterprises (G. B.) Ltd., Sighthill, Edinburgh, Schottland
- [B 4] Dumont (Nucletron, München)
- [B 5] Texas Nuclear Corporation, Austin 17, Texas, USA
- [B 6] Intertechnique, Dep. Nucleaire, 81 rue Escudier, Boulogne (Seine), Frankreich